

UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA  
Autorização Decreto nº 9237/86. DOU 18/07/96. Reconhecimento: Portaria  
909/95, DOU 01/08-95

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS  
CAMPUS III – JUAZEIRO  
Colegiado de Engenharia Agrônômica



**PAULA PEREIRA DOS PASSOS**

**BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO NO DESEMPENHO DO  
MILHO CULTIVADO SOB ESTRESSE HÍDRICO**

**JUAZEIRO – BA  
2025**

**PAULA PEREIRA DOS PASSOS**

**BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO NO DESEMPENHO DO  
MILHO CULTIVADO SOB ESTRESSE HÍDRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais na Universidade do Estado da Bahia DTSC/UNEB, campus III, colegiado de Engenharia Agrônômica como um dos pré-requisitos para obtenção de tona para a disciplina Trabalho de Conclusão de Curso.

**Orientador (a):** Prof<sup>ª</sup>. Lindete Míria Vieira Martins;

**Co-orientadores:** Dr. Paulo Ivan Fernandes Júnior;  
Eng. Agrônomo Bruno Gabriel Amorim Barros.

**JUAZEIRO - BA  
2025**

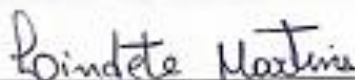
**PAULA PEREIRA DOS PASSOS**

**BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO NO DESEMPENHO  
DO MILHO CULTIVADO SOB ESTRESSE HÍDRICO**

Trabalho de conclusão de curso aprovado como pré-requisito parcial à obtenção ao grau de Bacharel em Engenharia Agrônoma no curso de graduação em Engenharia Agrônoma do Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais da Universidade do Estado da Bahia.

Aprovado em 28/07/2025.

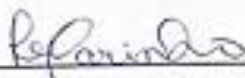
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dra. Lindete Míria Vieira Martins (Presidente/Orientador)  
Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais - III



Prof. Dr. Rubens Silva Carvalho - DTCS - Agronomia (primeiro examinador)  
Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais - III



Prof. Dra. Ligia Borges Marinho – DTCS - Agronomia (segundo examinador)  
Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais - III

Juazeiro BA

2025

*Dedico a todas as mulheres da minha família que, silenciadas pela opressão e privadas do direito de sonhar, não puderam estudar nem viver sua liberdade. Que minha conquista seja um eco da resistência que viveram e uma semente de libertação para as que virão.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder força, sabedoria e serenidade durante toda essa caminhada.

À minha família, base sólida e fonte de amor incondicional. À minha mãe, Maria da Paixão, por seu exemplo de coragem e dedicação; à minha irmã Cassiana, sempre presente com seu apoio e carinho;

A minha filha Alicia Aruana, que me inspira diariamente com sua presença doce e iluminada, que com apenas dois anos chegou trazendo ainda mais amor, luz e sentido à minha vida.

Em memória do meu pai, Raimundo Antunes dos Passos, que, mesmo ausente fisicamente, permanece vivo em meu coração e em cada conquista minha. Sua lembrança é força e inspiração.

Aos meus amigos de graduação Dione, Eva, Gustavo, Amanda, Raiany e Milena por toda a amizade, partilha de conhecimentos, companheirismo e apoio ao longo dessa jornada.

Um agradecimento especial a meu amigo Bruno, com quem compartilhei experiências valiosas durante a iniciação científica, e cuja amizade foi essencial nessa trajetória.

Aos amigos Jonas, Gabriel, Luiz, Paulo, Rebeca e Thais do Laboratório Lamiso, pelo aprendizado conjunto, pela convivência e pelo espírito de equipe nos momentos de pesquisa.

À minha orientadora, professora Lindete Míria Vieira Martins, por sua orientação atenta, confiança, paciência e incentivo constante.

Agradeço ao meu coorientador Paulo Ivan, pelo incentivo constante e pelas contribuições essenciais para a realização deste trabalho.

A todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica e humana.

E, por fim, à Universidade do Estado da Bahia – UNEB, por ter sido o espaço que acolheu minha trajetória, me permitindo crescer como estudante, pesquisadora e cidadã

## RESUMO

O estresse hídrico é considerado como um dos fatores mais limitantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas, exigindo estratégias de adaptação para mitigar seus efeitos em cenários futuros de mudanças climáticas. Microrganismos dos gêneros *Bacillus* spp. e *Azospirillum* spp. tem se mostrado como agentes promissores na agricultura por manter a sanidade dos cultivos e reverter danos causados por estresses abióticos. O trabalho teve por objetivo avaliar a inoculação de Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal (BPCV) no desenvolvimento e produtividade do milho cultivado sob condições de estresse hídrico, na região do Submédio do Vale do São Francisco. O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais na Universidade do Estado da Bahia (DTCS/UNEB), durante os meses de fevereiro a abril de 2025, utilizando a cultivar AG 1051, sob dois níveis de irrigação (100% e 50% da Evapotranspiração da Cultura - ETC) associados a diferentes tratamentos com inoculação (*Azospirillum brasilense* 'Ab-V5' + 50% de N, *Bacillus* spp. 'ESA 402' + 50% de N, Mix, contendo ambas as cepas + 50% de N, e dois controles representados um por 50% e outro por 100% da adubação nitrogenada). O delineamento experimental foi em blocos casualizados em arranjo fatorial 5x2, e quatro repetições, totalizando em 40 parcelas amostrais. A inoculação bacteriana promoveu incrementos significativos no crescimento das plantas, por meio da altura, diâmetro do colmo e número de folhas, mesmo estando sob condições de 50% da ETC. Na produtividade, a inoculação com Mix, possibilitou maior produtividade de espigas sob estresse hídrico. A inoculação com BPCV possui potencial para viabilizar o cultivo do milho em ambientes de restrições hídrica na região do Submédio do Vale do São Francisco.

Palavras-chave: Ab-V5, *Bacillus* sp., Mudanças climáticas, Semiárido, *Zea mays* L.

## ABSTRACT

Water stress is considered one of the most limiting factors for plant growth and development, requiring adaptation strategies to mitigate its effects under future climate change scenarios. Microorganisms of the genera *Bacillus* spp. and *Azospirillum* spp. have shown promising potential in agriculture for maintaining crop health and reversing damage caused by abiotic stresses. This study aimed to evaluate the effect of inoculation with Plant Growth Promoting Bacteria (PGB) on the development and productivity of corn grown under water stress conditions in the Sub-Middle São Francisco Valley region. The experiment was conducted in the experimental area of the Department of Technology and Social Sciences at the State University of Bahia (DTCS/UNEB), from February to April 2025, using the cultivar AG 1051, under two irrigation levels (100% and 50% of Crop Evapotranspiration - ETC) associated with different inoculation treatments (*Azospirillum brasilense* 'Ab-V5' + 50% N, *Bacillus* spp. 'ESA 402' + 50% N, Mix, containing both strains + 50% N, and two controls represented by 50% and 100% of nitrogen fertilization). The experimental design was a randomized complete block design in a 5x2 factorial arrangement, with four replicates, totaling 40 sample plots. Bacterial inoculation promoted significant increases in plant growth, including height, stalk diameter, and leaf number, even under conditions of 50% ETC. Regarding yield, inoculation with Mix enabled higher ear yield under water stress. Inoculation with BPCV has the potential to enable corn cultivation in water-restricted environments in the Sub-Middle São Francisco Valley region.

Keywords: Ab-V5, *Bacillus* sp., Climate change, Semiarid, *Zea mays* L.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Dados meteorológicos provenientes dos meses de fevereiro a abril do município de Juazeiro – BA, adquirido através da estação meteorológica automática do DTCS/UNEB.

**Figura 2.** Fotografia aérea da área experimental cultivada com milho AG 1051, localizada no DTCS/UNEB na cidade de Juazeiro na região do Vale do Submédio São Francisco em 2025.

**Figura 3.** Altura de plantas (A), número de folhas (B), diâmetro de colmo (C), e observação visual (D) de plantas de milho submetidas a diferentes tratamentos com microrganismos e duas lâminas de irrigação (100% e 50% da ETC). Os tratamentos se configuram em: Controle 50% de N, Controle 100% de N, Ab-V5 (*Azospirillum brasilense*), ESA 402 (*Bacillus spp.*) e Mix (Mistura de Ab-V5 + ESA 402), sendo comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas correspondem ao fator microrganismos e letras minúsculas a lâminas.

**Figura 4.** Massa de espigas empalhadas e despalhadas (A e B) de plantas de milho submetidas a duas lâminas de irrigação (100% e 50% da ETC), sendo comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

**Figura 5.** Número de fileiras por espigas de plantas de milho submetidas a diferentes tratamentos com microrganismos e duas lâminas de irrigação (100% e 50% da ETC). Os tratamentos se configuram em: Controle 50% de N, Controle 100% de N, Ab-V5 (*Azospirillum brasilense*), ESA 402 (*Bacillus spp.*) e Mix (Mistura de Ab-V5 + ESA 402), sendo comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas correspondem ao fator microrganismos e letras minúsculas a lâminas.

**Figura 6.** Massa de 100 grãos e produtividade de 1 hectare de plantas de milho submetidas a diferentes tratamentos com microrganismos e duas lâminas de irrigação (100% e 50% da ETC). Os tratamentos se configuram em: Controle 50% de N, Controle 100% de N, Ab-V5 (*Azospirillum brasilense*), ESA 402 (*Bacillus spp.*) e Mix (Mistura de Ab-V5 + ESA 402), sendo comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de

probabilidade. Letras maiúsculas correspondem ao fator microrganismos e letras minúsculas a lâminas.

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Atributos químicos e físicos de Neossolo Flúvico cultivado com milho de área experimental pertencente ao DTCS/UNEB.

**Tabela 2.** Análise de variação em função das variáveis altura de plantas, número de folhas, diâmetro de colmo, massa da parte aérea seca e teor de nitrogênio da folha em plantas de milho, submetido a inoculação de microrganismos e lâminas de irrigação.

**Tabela 3.** Análise de variação em função das variáveis comprimento de espiga empalhada, comprimento da espiga desempalhada, massa da espiga empalhada, massa da espiga desempalhada, número de fileiras, massa de 100 grãos e produtividade em plantas de milho, submetido a inoculação de microrganismos e lâminas de irrigação.

## LISTA DE ABREVIACÕES

1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC deaminase)  
*Azospirillum brasilense* (Ab-V5)  
*Bacillus sp.* (ESA 402)  
Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCP)  
Coeficiente da cultura (Kc)  
Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais (DTCS)  
Dias Após a Emergência (DAE)  
Evapotranspiração da cultura (ETC)  
Evapotranspiração de referência (ETO)  
Exopolissacarídeos (EPS)  
Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)  
Luria Bertani (LB)  
Nitrogênio (N)  
Rotações por minuto (RPM)  
Universidade do Estado da Bahia (UNEB)

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	14
2.1. Características edafoclimáticas do local do experimento .....	14
2.2. Preparo do inóculo .....	16
2.3. Inoculação, semeadura e tratos culturais .....	17
2.4. Manejo de irrigação .....	17
2.5. Delineamento experimental e análise de dados .....	18
<b>3. RESULTADOS</b> .....	20
3.1. Promoção de crescimento .....	20
3.2. Componentes de produção .....	22
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	25
4.1. Promoção de crescimento .....	25
4.2. Componentes de produção .....	29
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	30
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	31

## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são consideradas como um dos maiores desafios enfrentados atualmente. Na agricultura, esse evento ocasiona em modificações significativas na fisiologia e ecologia das culturas, tornando a produção de alimentos mais difícil e exigindo práticas de manejo eficientes que tolerem estas condições (Malhi et al., 2021).

O aumento das temperaturas, associado à intensificação de eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, tem causado impactos negativos nos agroecossistemas. Dentro deste cenário, sistemas agrícolas que predominam, a agricultura familiar, conduzidos por pequenos agricultores, nas regiões áridas e semiáridas do Nordeste serão os mais afetados no mundo (Angelotti et al., 2022).

Entre os estresses abióticos, o hídrico é tido como um dos fatores mais severos que prejudicam o crescimento das plantas, ocasionando a redução das características morfológicas, fisiológicas, bioquímicas, e conseqüentemente da produtividade (Waseem et al., 2023). Desse modo, estratégias de adaptação das plantas serão imprescindíveis para mitigar os efeitos causados pelo estresse hídrico em cenários futuros na agricultura.

As Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal (BPCV) são microrganismos que podem colonizar a rizosfera, a filosfera ou viver endofiticamente nos tecidos vegetais, contribuindo para o aumento da disponibilidade de nutrientes e conferindo proteção contra os efeitos adversos causados pelo estresse hídrico (Fanai, et al., 2024).

Estas, possuem mecanismos diretos e indiretos que auxiliam no desenvolvimento das plantas, pela produção de auxinas, síntese de 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC deaminase), e sideróforos, solubilização de nutrientes, Fixação Biológica de Nitrogênio, proteção contra estresses abióticos e controle biológico de pragas e doenças (Gomes et al., 2022).

Dentro deste grupo, bactérias do gênero *Bacillus* e *Azospirillum* tem desempenhado um papel significativo no desenvolvimento e saúde das plantas. Elas são amplamente utilizadas, devido à sua capacidade de promoção de crescimento, tolerância à seca, salinidade, altas temperaturas e capacidade de fixar nitrogênio em espécies de gramíneas e cereais (Nunes et al., 2023; Cunha et al., 2023).

O milho (*Zea mays* L.), está entre os principais cereais cultivados e consumidos globalmente, desempenhando um papel essencial na agricultura de diversos países. No Brasil, é a segunda cultura mais produzida, e a região Nordeste ocupa a quarta posição no ranking nacional, com uma produção estimada em 9,7 milhões de toneladas, com destaque para os estados da Bahia, Maranhão e Piauí (Silva et al., 2023; IBGE, 2025).

No cultivo do milho, o uso de inoculantes é considerada uma alternativa promissora para o desenvolvimento da cultura. Os mais comuns envolvem bactérias do gênero *Azospirillum* e *Bacillus*. Nesta perspectiva, estudos apontam que a inoculação com estes microrganismos promove aumento da produtividade, eficiência no uso de fertilizantes e, sustentabilidade, pela redução de adubos industrializados e por mitigação dos estresses abióticos (Reis et al., 2022; Silva et al., 2023).

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da inoculação de Bactérias Promotoras de Crescimento no desenvolvimento e produtividade do milho sob dois diferentes níveis de irrigação no Submédio do Vale do São Francisco.

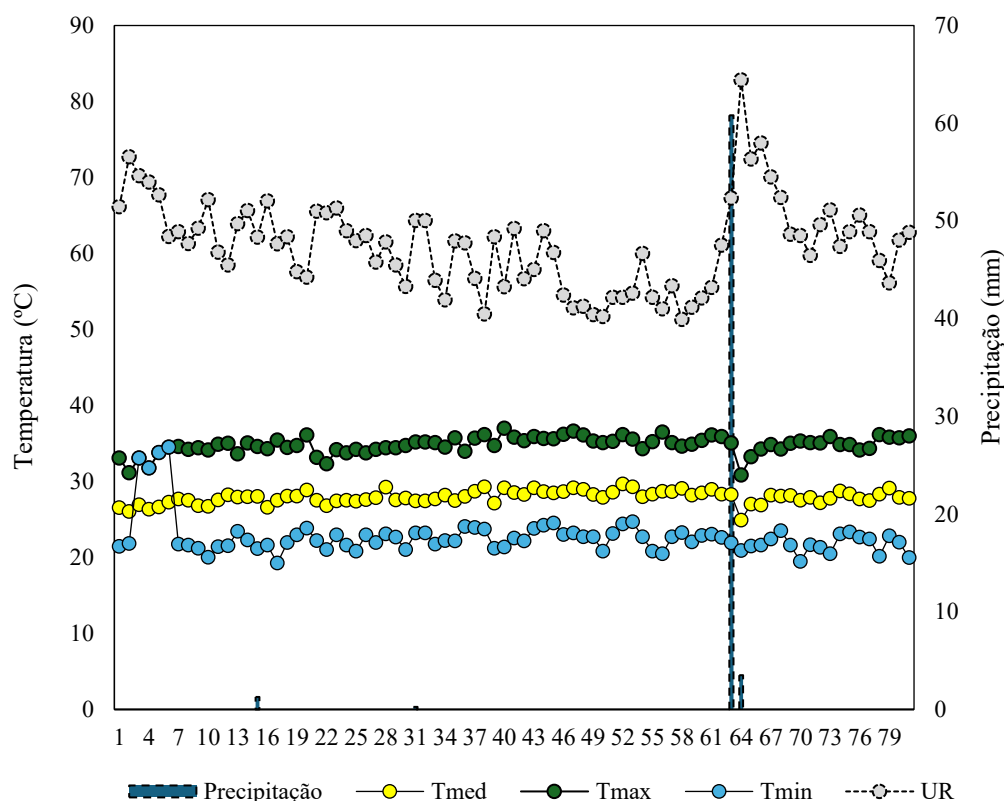
## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Características edafoclimáticas do local do experimento**

O experimento foi conduzido durante os meses de fevereiro a abril de 2025 na área experimental pertencente ao Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais da Universidade do Estado da Bahia (DTCS/UNEB), *Campus* III, localizado no município de Juazeiro, obedecendo as coordenadas geográficas: Lat. 9°25'12.87" S e Long. 40° 29' 13.30"W.

De acordo com a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima do tipo BSW<sub>h</sub>' semiárido, caracterizado como quente e seco, com irregularidade de chuvas, altas temperaturas e intensidade luminosa.

Durante a condução do experimento foram coletados dados meteorológicos pertencentes à estação meteorológica automática do DTCS/UNEB, sendo descritos na (Figura 1).



**Figura 1.** Dados meteorológicos provenientes dos meses de fevereiro a abril do município de Juazeiro – BA, adquirido através da estação meteorológica automática do DTCS/UNEB.

Desse modo, durante a condução do experimento, valores da temperatura foram elevados em maior parte do período do estudo, considerando, a média diária, de 26°C e 30°C. A umidade relativa do ar, oscilou entre 40% e 65%, tendo um pico de 80%, devido a uma única precipitação que ocorreu ao 64º dia de experimento, de 60,8mm.

O solo da área do experimento se classifica como Neossolo Flúvico, com suas características químicas e físicas, estão apresentadas na (Tabela 1).

**Tabela 1.** Atributos químicos e físicos de Neossolo Flúvico antes do cultivo de milho pertencente a área experimental do DTCS/UNEB.

Atributos químicos										Atributos físicos		
pH	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	H + Al	M.O	Areia	Silte	Argila
	mg kg <sup>-1</sup>			cmolc dm <sup>3</sup>						g kg <sup>-1</sup>		
6,7	74,8	0,42	8,28	1,81	0,18	10,69	0	1,28	11,9	878,34	68,87	52,74

pH – potencial hidrogeniônico; P- fósforo; K<sup>+</sup> - potássio; Ca<sup>2+</sup> – cálcio; Mg<sup>2+</sup> - magnésio; SB – soma de bases; Al<sup>3+</sup> - alumínio; H + Al – hidrogênio + alumínio; M.O – matéria orgânica.

O solo contém altos teores de fósforo, potássio, magnésio e cálcio, além disso possui ausência de alumínio tóxico, adequados concentrações de matéria orgânica,

pH próximo a neutralidade e baixa acidez o que dispensou a necessidade de correção por calagem. No entanto, sua textura é arenosa, resultando em baixa retenção de água e nutrientes no solo.

Desse modo, a área foi preparada para implantação do experimento por meio do auxílio de implementos agrícolas que realizaram aragem, gradagem e nivelamento da camada superficial a 0-30cm.

## **2.2. Preparo do inóculo**

Foram utilizados dois inóculos bacterianos, pertencentes à coleção de microrganismos multifuncionais da Embrapa Semiárido. As bactérias pertenciam ao gênero *Bacillus sp.* (ESA 402) e *Azospirillum brasilense* (Ab-V5).

A ESA 402, é um isolado proveniente da rizosfera de sorgo, genótipo BRS Ponta Negra, cultivado em campo no município de Petrolina, Pernambuco, selecionada, em razão das suas características bioquímicas de promoção de crescimento, e resistência à seca em pesquisas com as culturas de sorgo e gergelim (Antunes, et al., 2019; Santana et al., 2020; Lima et al., 2023; Santos et al., 2024).

A cepa Ab-V5, é pertencente a espécie *Azospirillum brasilense* já determinada como inoculante para Fixação Biológica de Nitrogênio e promoção de crescimento em gramíneas e cereais.

Os inóculos, que se encontravam estocados em temperatura de -80°C, foram ativados em meio de cultura sólido Luria Bertani (LB), contendo a formulação: 10g de triptona, 5g de extrato de levedura, 10g de NaCl e 15g de glicose por um litro de água destilada, adicionando 15g de ágar, e ajustando o pH final para 7,0. Após a inoculação das placas, elas foram incubadas em temperatura ambiente (28°C) por 72 horas.

A partir da visualização de crescimento, as bactérias foram cultivadas em meio LB líquido, para a produção do inoculante. Dessa forma, 5 colônias puras dos isolados foram transferidos para o meio líquido e mantidos sob agitação constante em 180 rotações por minuto (RPM).

Passadas 48h de crescimento, o caldo bacteriano formado foi centrifugado a 6000g por 3 minutos, e o pélete foi ressuspenso em solução salina de 0,85%, ajustando a densidade óptica para 0,6 a 600nm em espectrofotômetro, sendo esse processo repetido por duas vezes.

Com o ajuste realizado, 1000 µL do caldo foram plaqueados em meio LB. Posteriormente ao crescimento, observou-se que cada placa continha aproximadamente 10<sup>8</sup> unidades formadoras de colônia (UFC).

### **2.3. Inoculação, semeadura e tratos culturais**

Sementes de milho, da cultivar AG 1051, foram desinfestadas na sequência de álcool 70% (30s), hipoclorito de sódio (5min) e lavagem sucessiva em água corrente, seguindo a metodologia de Vincent (1970).

Em seguida, as sementes foram inoculadas pela imersão em caldo bacteriano por 30 minutos, pela técnica conhecida como microbiolização (Borges e Lopes, 2005). Passado esse tempo, as sementes foram secas à temperatura ambiente e semeadas em campo.

A semeadura ocorreu por volta das 08h da manhã, no dia 08 de fevereiro de 2025, com 4 sementes por sulco. Antes do plantio, houve uma lâmina de irrigação para manter a umidade do solo uniforme em todos os tratamentos.

A emergência das plântulas ocorreu entre 4 e 7 dias após o plantio, com uma taxa de germinação aproximada de 80%. Quinze dias após a emergência, as plantas foram desbastadas e deixadas somente uma por sulco.

No dia anterior à semeadura, foi realizado uma adubação de fundação com Nitrogênio na fonte de uréia (45%) na dosagem de 40kg, ha<sup>-1</sup>. Além disso, foi realizado uma adubação de cobertura, na mesma concentração, na fase V6, ou seja, com 6 folhas totalmente expandidas e Potássio (K), utilizando a fonte de Cloreto de Potássio (KCl), na dosagem de 60kg. ha<sup>-1</sup> na fase V12, no florescimento.

Foi realizado tratos culturais, como a aplicação de inseticidas biológicos e químicos para o controle de lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), mosca branca (*Bemisia tabaci*), gafanhoto (*Schistocerca* spp.) e pulgão (*Rhopalosiphum maidis*). Foi instalado armadilhas de coloração amarela com cola entomológica - ColeAgro, para captura de insetos predadores e capina para remoção de plantas espontâneas.

### **2.4. Manejo de irrigação**

A irrigação procedeu-se por meio de um sistema do tipo localizado, com gotejadores espaçados a 50 cm, abastecidos por um reservatório e acionado por uma bomba hidráulica com potência de 1,5 CV, atendendo a pressão de 1 m.c.a.

O manejo da irrigação ocorreu por meio da reposição da Evapotranspiração da cultura, com base na evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) adquirida da estação do Campus III, DTCS/UNEB e calculada por Penman-monteith e, o coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>), de acordo com sua fase fenológica. A partir dessas informações, obteve-se diariamente a ET<sub>c</sub> (Equação 1) e a lâmina bruta aplicada (Equação 2), a seguir:

$$ETC = ETO * Kc (fase)$$

Em que:

ET<sub>c</sub>= Evapotranspiração da cultura;

ET<sub>o</sub>= Evapotranspiração de referência (mm);

K<sub>c</sub> = coeficiente da cultura (fase).

$$L = \frac{ETC}{Ea} \times 1000$$

Onde:

L= Lâmina de água aplicada na irrigação (L);

ET<sub>c</sub>= Evapotranspiração da cultura;

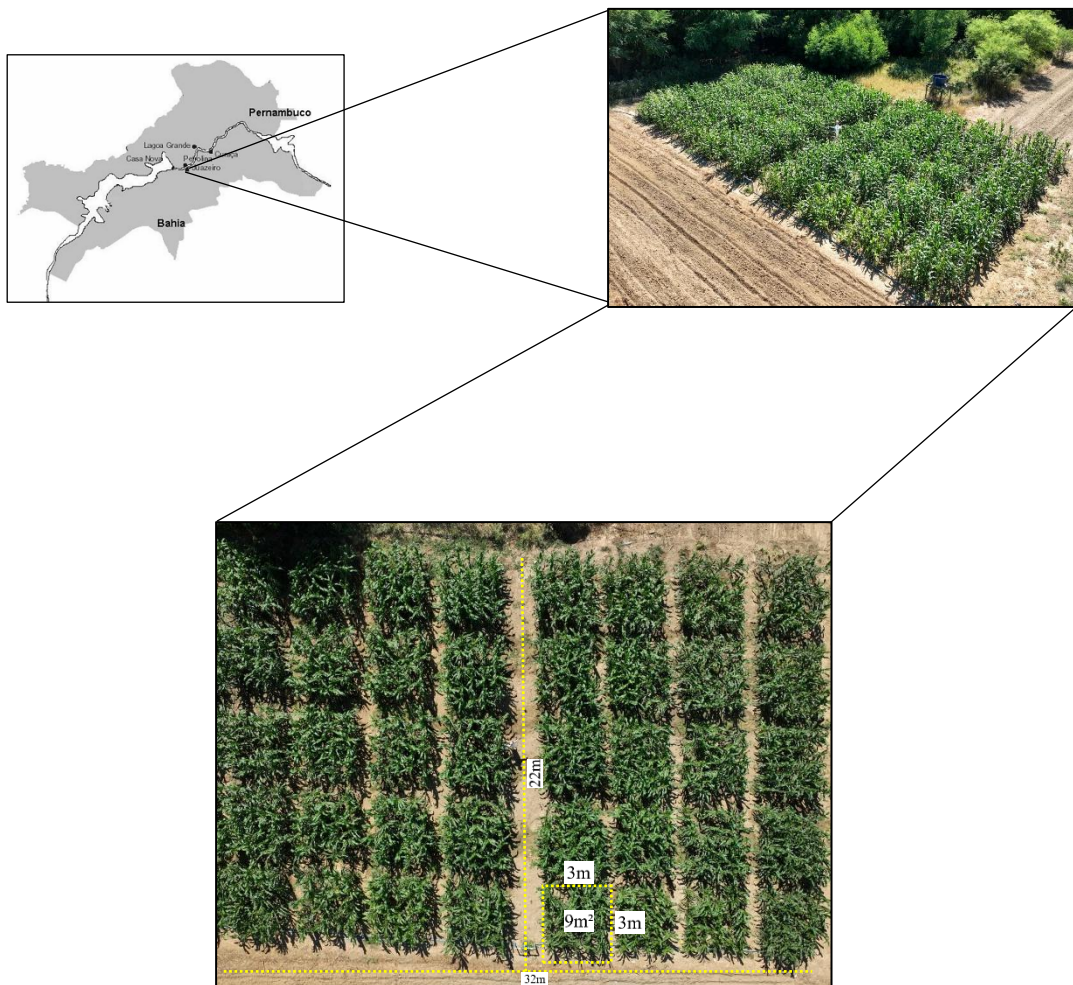
E<sub>a</sub> = Eficiência do sistema de irrigação localizado, decimal e considerado o valor de 0,95.

Com base na lâmina e considerando a vazão do sistema, quando ajustada a pressão de serviço a 1 m.c.a, calculou-se o tempo de irrigação. Até 15 dias após a emergência, a irrigação se manteve igual para todos os tratamentos e após esse período houve a diferenciação da aplicação da lâmina.

## **2.5. Delineamento experimental e análise de dados**

O delineamento experimental consistiu em blocos casualizados, contendo um fatorial 5x2, a qual o primeiro fator representava (Dois controles, com 100% e 50% da adubação recomendada de nitrogênio, *Azospirillum brasilense* + 50% de N (Ab-V5), *Bacillus* spp. (ESA 402) + 50% de N e um mix, contendo as duas cepas + 50% de N), e o segundo, dois regimes hídricos (100% e 50%, classificado como irrigação plena e irrigação deficitária), com 4 blocos, totalizando 40 parcelas.

A área do experimento correspondia a 0,05 ha<sup>-1</sup>, contendo parcelas de 9m<sup>2</sup> com as plantas espaçadas a 0,4m x 0,6m em um comprimento de linha de 32 metros (Figura 2).



**Figura 2.** Fotografia aérea da área experimental cultivada com milho AG 1051, localizada no DTCS/UNEB na cidade de Juazeiro na região do Vale do Submédio São Francisco em 2025.

Foram realizadas três colheitas durante o ciclo do experimento. Aos 45 DAE, foram coletadas 3 plantas por parcela, para serem avaliados os parâmetros de promoção de crescimento: a altura de plantas, o número de folhas, o diâmetro de colmo, a massa da parte aérea seca e o teor de N da folha.

Aos 74 DAE, foram verificados os componentes de produção de 3 espigas do milho verde: o comprimento, a massa de espiga empalhada e despalhada e o número de fileiras.

Aos 90 DAE, foram avaliadas 6 espigas de milho seco, por parcela, para determinar massa de 100 grãos e produtividade.

Os dados gerados foram tabulados e estudados por meio de análise de variância e quando significativos comparados pelo teste de Scott-Knott a 5%, utilizando o software R Studio.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Promoção de crescimento

A análise de variância revelou significância para o fator microrganismos para as variáveis altura de plantas e diâmetro de colmo. Houve interação significativa entre os fatores microrganismos e lâmina, apenas para número de folhas, o mesmo não foi verificado para a massa da parte aérea e o teor de nitrogênio da folha nem para os fatores isolados (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variação em função das variáveis altura de plantas, número de folhas, diâmetro de colmo, massa da parte aérea seca e teor de nitrogênio da folha em plantas de milho, submetido a inoculação de microrganismos e lâminas de irrigação.

Fonte de variação	GL	Altura de plantas	Número de folhas	Diâmetro de colmo	Massa da parte aérea seca	Teor de N da folha
Microrganismos	4	6,86**	3,19 *	3,35 *	1,97 NS	1,28 NS
Lâmina	1	3,28 NS	0,1 NS	0,12 NS	3,02 NS	0,37 NS
M x L	4	0,45 NS	4,49 **	1,93 NS	1,16 NS	1,50 NS
Erro	27	-	-	-	-	-
CV (%)		8,27	4,33	14,54	26,95	23,79

Fator A: Microrganismos (Ab-V5, ESA 402, Mix, controle 50% N e controle 100% N); Fator B: Lâminas de irrigação (100% e 50% da ETC).

A altura de plantas variou significativamente com o uso de microrganismos, mas não para a diferenciação das lâminas de irrigação e interação entre os fatores. Desse modo, os tratamentos com Ab-V5, ESA 402 e Mix de ambos os isolados expressaram as maiores médias, sendo superiores aos controles sem inoculação suplementados com 50% e 100% de adubação nitrogenada (Figura 3A).

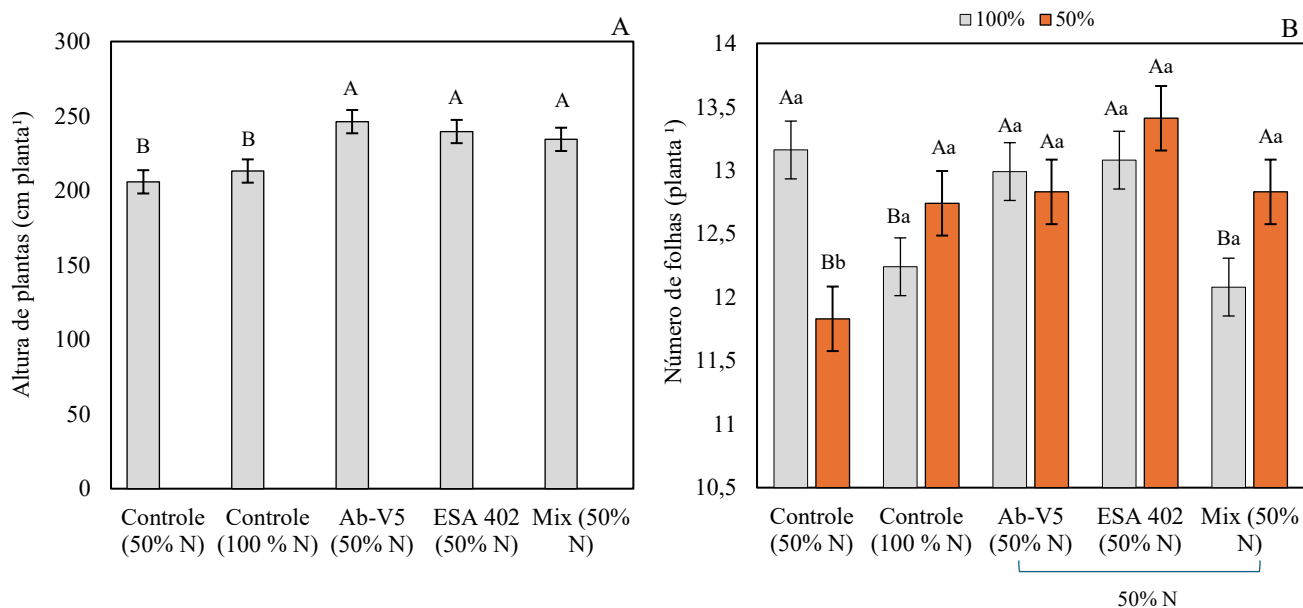
Em contraste a isso, para o número de folhas, houve interação significativa em ambos os fatores. Observou-se que na lâmina d'água com 100% da ETC, os tratamentos, controle com 50% de N, Ab-V5 e ESA 402 apresentaram maior quantidade de folhas nas plantas, enquanto, com 50% da ETC, os tratamentos controle com 100% de N, Ab-V5, ESA 402 e Mix se mantiveram semelhantes e superiores ao controle com 50% de N (Figura 3B).

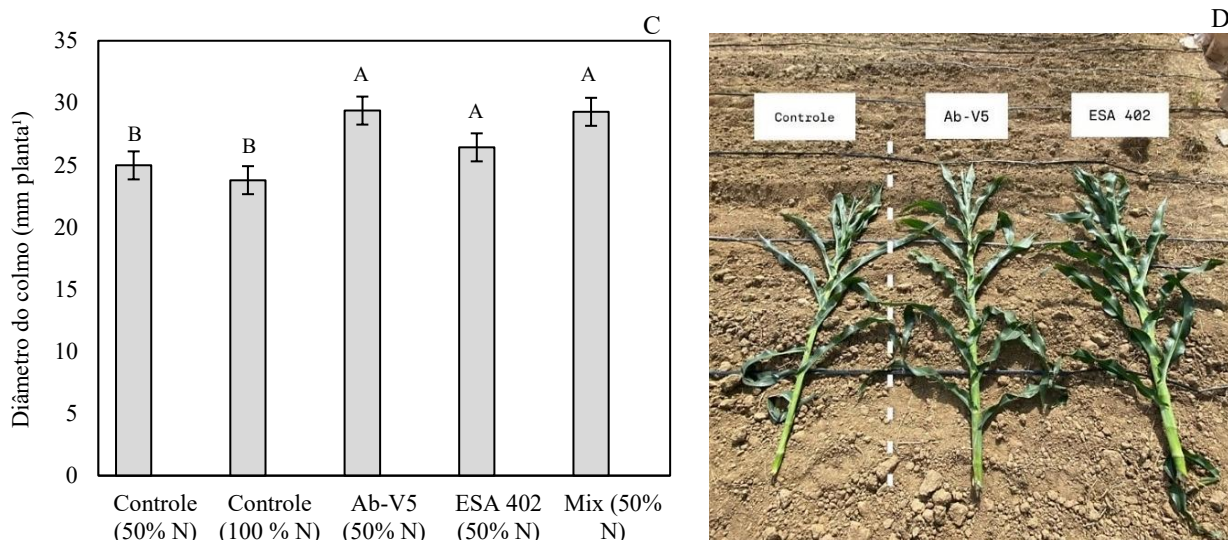
Em relação ao diâmetro do colmo, as plantas expressaram diferenças significativas apenas para o fator bactérias, com destaque para Ab-V5 e Mix. As lâminas de irrigação não influenciaram nesta variável, uma vez que em ambas as condições de 50% e 100% da ETC, as plantas possuíram o mesmo vigor (Figura 3C).

A massa da parte aérea seca não revelou diferenças significativas entre os tratamentos, mesmo existindo uma tendência de maior massa para os tratamentos com Ab-V5 e Mix. A inoculação com bactérias promotoras de crescimento e a redução da lâmina de irrigação para 50% da ETC não interferiram na produção de biomassa das plantas de milho.

O teor de N na folha também não foi influenciado pela inoculação das bactérias e lâminas de irrigação. Isso indica que a redução da adubação nitrogenada para 50% da dose recomendada não impactou negativamente na nutrição das plantas. Além disso, os tratamentos inoculados, mostraram desempenho semelhante ao controle com 100% da dose, podendo essa tecnologia contribuir para maior eficiência do uso de N na cultura do milho dentro das nossas condições.

A observação visual dos tratamentos reforça os resultados encontrados nos dados quantitativos, onde é possível aferir uma tendência no crescimento das plantas inoculadas com Ab-V5 e ESA 402, uma vez que, apresentam maior vigor quando comparadas àquelas não inoculadas, sendo características que podem estar associadas a presença das bactérias (Figura 3D).





**Figura 3.** Altura de plantas (A), número de folhas (B), diâmetro de colmo (C), e observação visual (D) de plantas de milho submetidas a diferentes tratamentos com microrganismos e duas lâminas de irrigação (100% e 50% da ETC). Os tratamentos se configuram em: Controle 50% de N, Controle 100% de N, Ab-V5 (*Azospirillum brasilense*), ESA 402 (*Bacillus* spp.) e Mix (Mistura de Ab-V5 + ESA 402), sendo comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas correspondem ao fator microrganismos e letras minúsculas a lâminas.

### 3.2. Componentes de produção

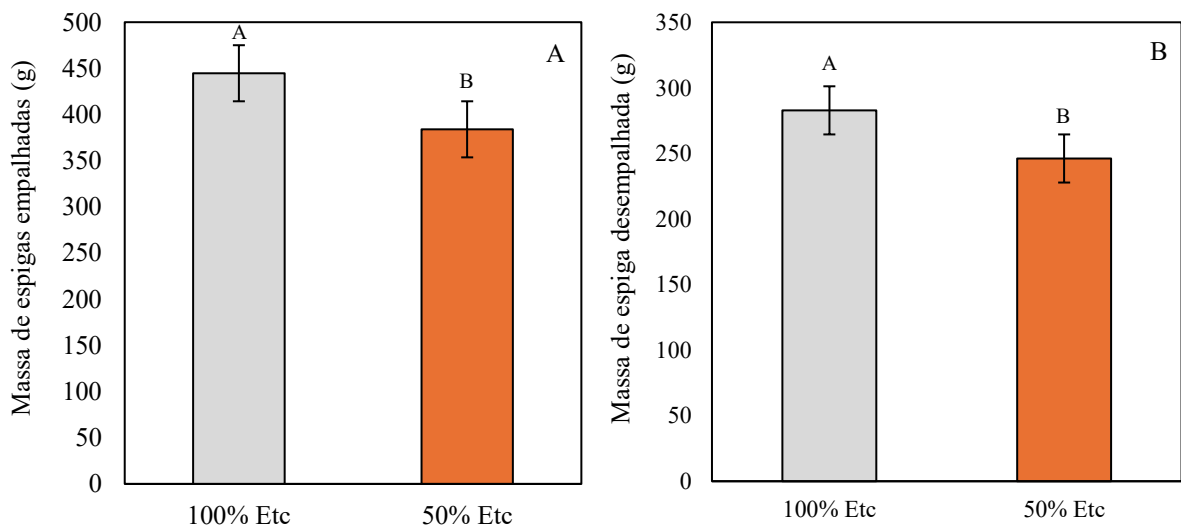
A (Tabela 3) expõe os resultados da análise de variância para os componentes de produção de milho. O comprimento da espiga empalhada e desempalhada não apresentaram diferenças significativas para ambos os fatores. A massa da espiga empalhada e desempalhada foram influenciadas pela lâmina da irrigação, mas não pelos microrganismos. O número de fileiras, massa de 100 grãos e produtividade apresentaram interação significativa entre os fatores.

Tabela 3. Análise de variação em função das variáveis comprimento de espiga empalhada, comprimento da espiga desempalhada, massa da espiga empalhada, massa da espiga desempalhada, número de fileiras, massa de 100 grãos e produtividade em plantas de milho, submetido a inoculação de microrganismos e lâminas de irrigação.

Fonte de variação	GL	Comprimento da espiga empalhada	Comprimento da espiga desempalhada	Massa da espiga empalhada	Massa da espiga desempalhada	Número de fileiras	Massa de 100 grãos	Produtividade
Microrganismos	4	1,59 NS	1,62 NS	1,01 NS	1,97 NS	1,13 NS	0,81 NS	0,82 NS
Lâmina	1	2,65 NS	0,18 NS	11,16 **	3,02 **	2,15 NS	0,18 NS	0,18 NS
M x L	4	0,57 NS	0,88 NS	1,61 NS	1,16 NS	4,45**	2,84 *	2,87 *
Erro	27	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		8,04	4,90	13,87	14,55	4,92	6,29	6,22

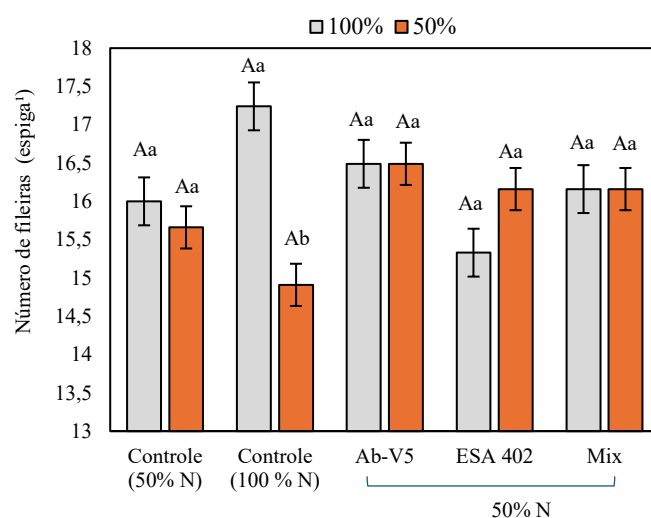
O comprimento da espiga com e sem palha não obtiveram diferenças significativas entre os fatores. Tanto a inoculação bacteriana, quanto as doses de nitrogênio, bem como as lâminas de irrigação não influenciaram no crescimento de espigas do nosso estudo.

Porém, para a massa de espiga empalhada e despalhada houve diferenças apenas para o fator irrigação, a qual as plantas que foram irrigadas com 100% da ETC, mantiveram maior massa de espigas quando comparadas àquelas irrigadas com 50%. Além disso, os tratamentos inoculados e que receberam 50% de N, se mantiveram semelhantes ao controle adubado com 100% de N (Figura 4A e 4B).



**Figura 4.** Massa de espigas empalhadas e despalhadas (A e B) de plantas de milho submetidas a duas lâminas de irrigação (100% e 50% da ETC). sendo comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

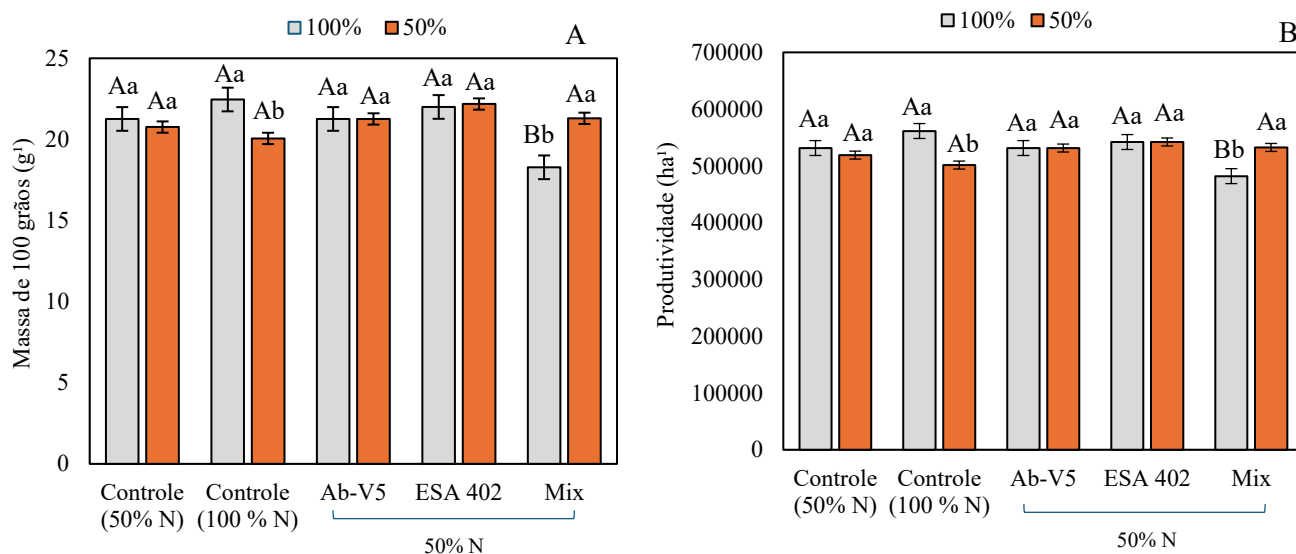
O número de fileiras por espiga apresentou interação significativa entre os fatores. O tratamento controle com 100% de N, obteve as maiores médias na lâmina de 100% e a menor na lâmina de 50%. Em contrapartida, os tratamentos inoculados e controle 50% de N, se mantiveram estatisticamente semelhantes em ambas as lâminas, não se diferenciando entre si, e se mantendo iguais ao controle com 100% de N em irrigação plena, revelando uma compensação da redução de 50% de N, mantendo o número de fileiras estável (Figura 5).



**Figura 5.** Número de fileiras por espigas de plantas de milho submetidas a diferentes tratamentos com microrganismos e duas lâminas de irrigação (100% e 50% da ETC). Os tratamentos se configuram em: Controle 50% de N, Controle 100% de N, Ab-V5 (*Azospirillum brasilense*), ESA 402 (*Bacillus* spp.) e Mix (Mistura de Ab-V5 + ESA 402), sendo comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas correspondem ao fator microrganismos e letras minúsculas a lâminas.

O peso de 100 grãos de milho revelou interação significativa entre os microrganismos e lâminas de irrigação, sugerindo que o efeito da inoculação para esta variável depende do nível de água que a planta recebe. O tratamento controle com 100% de adubação nitrogenada respondeu a maior massa de grãos, enquanto o Mix, se mostrou como a menor, sendo estatisticamente inferior aos demais. Além disso, na lâmina de 100%, os tratamentos inoculados com Ab-V5 e ESA 402 foram semelhantes ao controle com adubação recomendada de 100%. Já na lâmina de 50% não foram verificadas diferenças significativas entre o fator microrganismo (Figura 6a).

No que diz respeito à produtividade, observou-se um comportamento semelhante à variável do peso de 100 grãos. Adicionalmente, o tratamento com 100 % de N, ESA 402 e Ab-V5, obtiveram valores de produtividade semelhantes, com incremento de 16,52% na lâmina de 100%. Dentro deste mesmo regime hídrico, estes mesmos tratamentos incrementaram em 11,96%, quando comparado à lâmina de 50%. Por outro lado, o Mix respondeu melhor à condição de lâmina de 50%, com aumento de 10,49% na produtividade em relação à 100% da ETC (Figura 6b).



**Figura 6.** Massa de 100 grãos e produtividade de 1 hectare de plantas de milho submetidas a diferentes tratamentos com microrganismos e duas lâminas de irrigação (100% e 50% da ETC). Os tratamentos se configuram em: Controle 50% de N, Controle 100% de N, Ab-V5 (*Azospirillum brasilense*), ESA 402 (*Bacillus* spp.) e Mix (Mistura de Ab-V5 + ESA 402), sendo comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas correspondem ao fator microrganismos e letras minúsculas a lâminas.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Promoção de crescimento

O déficit hídrico é considerado como um dos fatores mais limitantes ao crescimento das plantas, principalmente em regiões áridas e semiáridas. A escassez parcial ou total de água ocasiona em diminuição das características morfofisiológicas das plantas, comprometendo o desenvolvimento e produtividade (Abdelaal et al., 2021; Abdelaal et al., 2020).

A utilização de bactérias promotoras de crescimento em plantas sob estresse, podem superar os efeitos negativos associados a esta condição, em função dos diversos mecanismos de atuação, incluindo Fixação Biológica de Nitrogênio, síntese de ACC – desaminase (que reduz a formação de etileno sob estresse),

produção de fitohormônios, biofilme e aumento da eficiência no uso de fertilizantes (Alkahtani et al., 2020).

A inoculação de BPCV's dos gêneros *Azospirillum* sp. e *Herbaspirillum* sp. foram responsáveis por mitigar a seca em plantas de milho, por meio da maior produção de biomassa, teor de nitrogênio e menores níveis de ácido abscísico e etileno (Curá et al., 2017). Da mesma forma, estirpes de *Bacillus* (B32, B116, B119 e B2084) trouxeram incrementos para a massa seca da raiz e parte aérea em milho, sob condições hidropônicas no estado de Minas Gerais (Gomes et al., 2022).

No presente estudo, uma das bactérias inoculadas, ESA 402 (*Bacillus* spp.), foi isolada da rizosfera de sorgo cultivado em solos do Semiárido Pernambucano, região que possui características edafoclimáticas adversas, como baixas precipitações, intensidade luminosa elevada, alta salinidade, intensa evapotranspiração e ocorrência frequente de déficit hídrico ao longo do ano (Antunes et al., 2019). Esse conjunto de atributos pode justificar os resultados encontrados na lâmina de 50% da ETC, a qual plantas inoculadas com ESA 402 não obtiveram diferenças significativas para 100% da ETC nas variáveis de altura de plantas, número de folhas e diâmetro de colmo.

É possível que tais condições tenham contribuído na seleção natural de microrganismos mais tolerantes à seca, e conseqüentemente conferir maior potencial de sobrevivência em ambientes de estresse hídrico (Etsami e Glick, 2020). Além disso, as respostas obtidas por esta bactéria, em algumas variáveis, foram similares aos tratamentos nitrogenados, e a cepa Ab-V5 de *A. brasilense* que se encontra estabelecida como inoculante para FBN em gramíneas e cereais, desde 2011 (Hungria e Nogueira, 2022).

Desse modo, existe possibilidade que microrganismos nativos de ambientes estressantes, possam ser utilizados para a formulação de tecnologias para a indústria do setor agrícola, e potencializar o manejo de diferentes espécies vegetais durante épocas de estiagem do ano (Silva et al., 2025).

Isso porque, já foi demonstrado que os microrganismos testados no nosso estudo, possuem capacidade de produzir substâncias poliméricas conhecidas como exopolissacarídeos (EPS) que conferem maior tolerância à seca, e já garantiram benefícios em plantas de sorgo e milho sob condições de restrição hídrica (Santana et al., 2020; Santos et al., 2021). Essa característica pode explicar a manutenção dos parâmetros morfológicos mesmo sob irrigação reduzida, uma vez que,

variáveis como altura de plantas, número de folhas, diâmetro de colmo e massa da parte aérea seca se mantiveram semelhantes em ambos os regimes hídricos, podendo esse incremento nos parâmetros morfológicos estarem relacionados à inoculação bacteriana.

Desse modo, quando um microrganismo de interesse agrícola possui a capacidade de produzir compostos que o protege em condições adversas, e quando aplicados em sistemas agrícolas, podem repassar essa característica para a planta hospedeira, ou pelo menos garantir maior sobrevivência dentro do ambiente (Silva et al., 2025).

Kavamura et al. (2018), ao avaliarem sete linhagens de BPCV's isoladas de plantas da caatinga, encontraram resultados que corroboram com os trazidos nessa pesquisa. Em milho, cultivado em casa de vegetação sob redução de 30% da demanda hídrica, foi observado aumento significativo na altura de parte aérea, biomassa seca e área foliar. Plantas de milho com 45 dias após a emergência e irrigadas com 40% da ETC, apresentaram incrementos de 21% na altura, 63% no diâmetro de caule, e 69% e 124% na massa da parte aérea e raiz seca, respectivamente, quando inoculadas com táxons de *Bacillus* spp. nativos de terras secas do Semiárido (Dias et al., 2022). Estes mesmos microrganismos, estudados pelo mesmo grupo de pesquisa, foram responsáveis por mitigar os efeitos do déficit hídrico e promover crescimento em meloeiro (Dias et al., 2023).

Atrelado a isso, esse trabalho mostra que ESA 402, Ab-V5 e Mix (mistura dos dois isolados) associados a 50 % de nitrogênio, possibilitaram incrementos similares ou superiores ao tratamento controle que recebeu 100% da dose recomendada de N para a cultura. Essa similaridade das plantas inoculadas com o controle, pode estar associada ao processo da FBN, realizada também por bactérias associativas que colonizam a rizosfera das plantas (Pankievicz et al., 2019).

O uso em consórcio de ESA 402 e Ab-V5 se mostrou como uma estratégia promissora sob condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro, especialmente no cultivo do milho sob estresse hídrico, de tal modo que a combinação das duas cepas evidencia um potencial sinérgico que pode ser explorado para o desenvolvimento de inoculantes mais adaptados às condições ambientais da região.

Ainda que a contribuição da FBN em gramíneas e cereais seja modesta, quando comparada com a simbiose de rizóbio-leguminosa, vários estudos conduzidos em safras sucessivas por Hungria e Nogueira (2022) demonstraram ganhos

significativos que destacam a redução de 25% de N na adubação de cobertura e menor emissão de gases de efeito estufa pela inoculação de *A. brasilense* em milho.

A inoculação de BPCV's também favorece a absorção de outros nutrientes, por meio da solubilização, mineralização no solo ou até mesmo impulsionar a absorção de fertilizantes, em virtude do crescimento de pelos radiculares (Guimarães et al., 2022; Santos et al., 2021).

O comportamento da massa da parte aérea seca, observado na (Figura 4D) embora não tenha apresentado diferenças significativas, não anula a contribuição dos microrganismos inoculados, tendo em vista que se manteve similar aos tratamentos nitrogenados. Essa resposta, pode estar associada à atuação das bactérias na produção de fitohormônios como auxinas, que estimulam o crescimento vegetativo. Além disso, vale ressaltar que a coleta aos 45 dias após a emergência, pode ter influenciado a ausência de diferenças significativas. Cassán et al., (2016), obteve resultados que corroboram com os nossos. Por outro lado, Gomes et al., (2022) encontraram efeitos positivos sobre a biomassa de milho sob estresse hídrico e inoculado com BPCV.

O teor de elementos minerais, a exemplo do nitrogênio nas plantas de milho, não obteve diferenças significativas para os dois fatores estudados. Porém há uma tendência, que a cepa Ab-V5 de *A. brasilense* na lâmina de 100%, tenha assegurado maior aporte de N para as plantas, mesmo que os dados não apontem discrepância. Por outro lado, esse tratamento, e àqueles inoculados com ESA 402 e Mix possuíram médias semelhantes aos controles nitrogenados, até mesmo àquele que recebeu 100% da dose de N recomendada.

Numoto et al., (2019), ao avaliarem o desempenho agrônômico do milho-doce em função do tratamento de sementes com *A. brasilense* e manejo com adubação nitrogenada, encontraram aumentos significativos nos parâmetros de crescimento. Atrelado a isso, um estudo em campo também demonstrou que o consórcio entre *A. brasilense* e *Bacillus subtilis* elevou a eficiência do uso de N em milho, aplicado em doses de 60, 120 e 180kg N/ha<sup>1</sup> (Galindo et al., 2024). Além disso, *Pseudomonas syringae* associada a 50% de dose de NPK, promoveu maior altura e biomassa de milho, quando comparada a aplicação total de NPK (Amogou et al., 2021).

Com base nesses resultados, é possível relatar a existência de compatibilidade entre BPCV e doses reduzidas de fertilizantes nitrogenados, evidenciando efeitos

sinérgicos, que auxiliam o desenvolvimento e produtividade de culturas como o milho.

#### **4.2. Componentes de produção**

A produtividade agrícola está diretamente relacionada ao desenvolvimento dos parâmetros morfológicos das plantas, sendo influenciada por fatores genéticos, edafoclimáticos, práticas de manejo, adubação e uso de ferramentas biológicas como Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal (BPCV) (Abdulaziz e Hind, 2023).

Os resultados encontrados neste estudo demonstram que, embora algumas variáveis não tenham sido influenciadas pela inoculação das bactérias, observou-se efeitos positivos relacionados ao manejo hídrico e adubação nitrogenada. Tendo em vista, que em condições de irrigação plena (100% ETC), as plantas apresentaram melhor desempenho em comparação a irrigação deficitária (50% ETC). Além do mais, os tratamentos que receberam 50% da adubação nitrogenada, quando associados a inoculação, mostraram desempenho produtivo similar ao controle com 100% de N.

Desse modo, esse modelo de resposta, pode ser considerado como uma possível alternativa para o cultivo do milho em regiões do semiárido brasileiro, principalmente, porque de 98,3 milhões de hectares, esta localidade só possui apenas 12% de terras que praticam agricultura irrigada (Levien et al., 2019). Além de que, boa parte do cultivo de milho é proveniente da região Nordeste, oriundo da agricultura familiar, ou seja, com poucos recursos financeiros e baixa tecnologia.

As pesquisas envolvendo Fixação Biológica de Nitrogênio na região Nordeste é de fundamental importância para isolar e recomendar novas estirpes de bactérias para aumentar a resistência de espécies agrônômicas às condições adversas da localidade, e proporcionar ganhos de produtividade. (Freitas e Fernandes -Júnior, 2021).

Martins et al., (2003), avaliando a eficiência agrônômica de 10 cepas de rizóbios isoladas da região nordeste, verificaram produtividade de grãos de feijão-caupi, mediada por uma das estirpes, similar à obtida com a aplicação de 50kg N ha<sup>1</sup>. Galindo et al., (2019) também conseguiram manter a produtividade do milho com redução em 50% a dose de 200 kg/ha<sup>-1</sup> de N. Todavia, a inoculação de milho com *A.brasilense* associada a 15% de N, não apresentou diferenças significativas

nos parâmetros de produção em Latossolo Vermelho Distrófico na região de Goiás (Júnior et al., 2021).

A tecnologia da inoculação com BPCV, é uma técnica economicamente viável e apresenta baixo impacto ambiental. Porém, o aumento da eficiência, se encontra relacionado a fatores como clima, solo, material genético e competitividade da estirpe frente a microrganismos nativos do solo (Pandolfo et al., 2015).

A inoculação com BPCV tem sido utilizada a vários anos para aumentar a produtividade do milho. *A.brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* aumentaram a produtividade do milho com e sem fertilização de N, aumentando o teor de proteína (Martins et al., 2018). Atrelado a isso, *B. subtilis*, *B.pumilus* e *B.pseudomycoides*, incrementou o rendimento do milho doce em 16%, 13,8% e 11,8% quando comparadas ao controle (Katsenios et al., 2022).

A produtividade total de grãos, dentro das condições instaladas do experimento, não foi afetada pelo fator lâminas de irrigação para os tratamentos de ESA 402, Ab-V5 e controle 50% de N, uma vez que não se diferenciaram entre si. Porém, o controle com 100% de N e Mix, obtiveram diferenças, a qual na lâmina de 50% da ETC, o controle 100% de N, reduziu o rendimento, bem como o mix, que em contraste a isso, manteve maior produtividade na lâmina de 50%.

Os efeitos positivos observados no tratamento com Mix, corroboram com os trazidos por Petrillo et al. (2022), que verificaram maior eficiência de BPCV's quando inoculadas em consórcio, especialmente em ambientes com maior nível de estresse. Visto que, a compatibilidade com duas linhagens de bactérias pode trazer retornos positivos para as plantas, já que o sinergismo entre elas no solo pode potencializar suas multifuncionalidades como formação de biofilme que protegem as plantas contra condições estressantes (Shao et al., 2022).

Portanto, a inoculação de bactérias de forma isolada ou em consórcio, demonstrou não apenas manter, mas em alguns casos superar a adubação nitrogenada, principalmente sob estresse hídrico, reforçando o potencial dessas tecnologias como ferramentas estratégicas de manejo sustentável, em virtude da menor dependência de fertilizantes, maior adaptação aos cenários de mudanças climáticas e redução de emissão de gases de efeito estufa.

## **5. CONCLUSÕES**

A inoculação de Bactérias Promotoras de Crescimento é uma estratégia promissora para manter o desenvolvimento do milho verde sob condições de estresse hídrico no semiárido brasileiro.

A inoculação com esses microrganismos permitiu a manutenção da produtividade do milho mesmo sob o regime hídrico com 50% da ETC, destacando-se a combinação entre ESA 402 e Ab-V5, a qual demonstra potencial promissor para o desenvolvimento de bioinsumos adaptados às condições do semiárido.

## 6. Referências bibliográficas

Abdelaal, K. A. A.; Attia, K.A.; Alamery, S.F.; El-Afry, M.; Ghazy, A.; Tantawy, D.S.; Al-Dross, A.; El-Sayed, E.E.; Abdelghafar, M.A.; Yaser, M.H. Exogenous application of proline and salicylic acid can mitigate the injurious impacts of drought stress on barley plants associated with physiological and histological characters. *Sustainability*, Basel, v. 12, n. 1, p. 1-15 2020. <https://doi.org/10.3390/su12051736>

Abdulaziz, A.A.; Shwaiman, H.A.L. The Effect of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on Soil Properties and the Physiological and Anatomical Characteristics of Wheat under Water-Deficit Stress Conditions. *Agronomy*. v.13, n.11, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13112042>

AlKahtani, M.D.F.; Attia, K.A.; Hafez, Y.M.; Khan, N.; Eid, A.M.; Ali, M.A.M.; Abdelaal, K.A.A. Chlorophyll Fluorescence parameters and antioxidant defense system can display salt tolerance of salt acclimated sweet pepper plants treated with chitosan and plant growth promoting rhizobacteria. *Agronomy*. Basel, v. 10, n. 8, p. 1180, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081180>

Amogou O.; Noumavo A.P.; Agbodjato N.A.; Sina H, Dagbénonbakin G.; Adoko M.Y.; Salako V.K.; Kakaï R.G.; Adjanooun, A.; Baba-Moussa, L. Rhizobacterial inoculation in combination with mineral fertilizer improves maize growth and yield in poor ferruginous soil in central Benin. *BioTechnologia (Poznań)*, v. 102, n. 2, p. 141-155, 2021. <https://doi.org/10.5114/bta.2021.106520>

Angellotti, F.; Oliveira, A.R. de.; Giongo, V.; Barros, J.R.A.; Guimarães, M.J.M. Sustainable agriculture as an adaptation measure for Araripe plaster pole. In:

Sabourin, E. (Ed.). Public policies for adapting agriculture to climate change in semi-arid Northeast Brazil. Rio de Janeiro: E-papers, 2022.

Antunes, G. Dos R.; Santana, S. R. A.; Escobar, I. E. C.; Brasil, M. Da S.; Araujo, G. G. L. De; Voltolini, T. V.; Fernandes Junior, P. I. Associative diazotrophic bacteria from forage grasses in the Brazilian semi-arid region are effective plant growth promoters. *Crop & Pasture Science*, Melbourne, v. 70, p. 899–907, 2019. <https://doi.org/10.1071/CP19076>

Borges, A. A.; Lopes, C. A. Uso de antagonistas microbianos no controle de doenças de plantas. In: Bettiol, W.; Moraes, J. C. (Org.). Controle biológico de pragas e doenças: desafios para a agricultura brasileira. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. p. 157–180.

Cassán, F.; Diaz-Zorita, M.; Luna, M. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*. v. 39, n. 1, p. 109-119, 2016. <https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-2015-0217>

Cunha, E.L. Efeitos do estresse subletal em bactérias promotoras de crescimento vegetal: revisão sistemática e aplicação em inoculantes de *Azospirillum brasilense* para milho. Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p.90-96, 2023.

Curá, J.A.; Franz, D.R.; Filosofia, J.E, Balestrasse, K.B.; Burgueño, L.E. Inoculation with *azospirillum* sp. and *herbaspirillum* sp. bacteria increases the tolerance of maize to drought stress. *Microorganisms*, Basel, v. 5, n. 3, 2017. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030041>

Dias, K. C. F. P.; Sousa, I.J.S.; Barros, Y.C.; Silva, E.P.; Leite, J.; Feitoza, A.F.A.; Santos, A.F.J. Native bacteria from the caatinga biome mitigate the effects of drought on melon (*Cucumis melo* L.). *Comunicata Scientiae*, Teresina, v. 15, p. 1-6, 2023. <https://doi.org/10.14295/cs.v15.4072>

Dias, K. C. F. R.; Souza, I.J.S.; Dinas, S.S.E.; Oliveira, M.C.B.; Ferreira, V.Q.; Barros, Y.C.; Santos, A.F.J. Proteção para a cultura de milho contra a seca mediada por bactérias da Caatinga. *Agrometeoros*. v. 30, e026986, 2022. <https://doi.org/10.31062/agrom.v30.e026986>

Etesami, H.; Glick, B. R. Halotolerant plant growth-promoting bacteria: prospects for alleviating salinity stress in plants. *Environmental and Experimental Botany*, Amsterdam, v. 178, p. 1-27, 2020.  
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104124>

Fanai, A.; Bohia, B.; Lalremruati F.; Lalhriatpuii, N.; Lalrokimi, Lalmuanpuii R.; Singh P.K, Zothanpuia (2024). Plant growth promoting bacteria (PGPB)-induced plant adaptations to stresses: an updated review. *PeerJ*, 12:e17882.  
<https://doi.org/10.7717/peerj.17882>

Freitas, A. D. S.; Fernandes Júnior, P. I. Fixação biológica de nitrogênio em agroecossistemas da região Semiárida do Nordeste. In: Souza, H. A.; Leite, L.F.C.; Medeiros, J.C. (Ed.). Solos sustentáveis para a agricultura no Nordeste. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 375–408.

Galindo, F.S.; Pagliari, P.H.; da Silva E.C.; de Lima, B.H.; Fernandes, G.C.; Thiengo, C.C.; Bernandes, J.V.S.; Jalal, A.; Oliveira, C.E.S.; Vilela, L.S.; Junior, E.F.; Nogueira, T.A.R.; Nascimento, V.; Filho, M.C.M.T.; Lavres, J. Impact of nitrogen fertilizer sustainability on corn crop yield: the role of beneficial microbial inoculation interactions. *BMC Plant Biology*, v. 24, p. 1–20, 2024.  
<https://doi.org/10.1186/s12870-024-04971-3>.

Galindo, F.S.; Texeira, M.C.F.; Buzetti, S.; Pagliari, P.H.; Santini, J.M.K.; Alves, A.J.; Megda, M.M.; Nogueira, T.A.R.; Andreotti, M.; Orivaldo, A. Maize yield response to nitrogen rates and sources associated with *Azospirillum brasilense*. *Agronomy Journal*, Madison, v. 111, n. 4, p. 1985-1997, 2019.  
<https://doi.org/10.2134/agronj2018.07.0481>

Gomes, C. G.; Velloso, C.C.; Godinho, B.T.; Paiva, C.A.; Gomes, E.A.; Magalhães, P.C.; Lana, U.G.; Tinoco, S.M. Efeitos de bactérias promotoras de crescimento em plântulas de milho sob estresse hídrico induzido por polietilenoglicol 6000. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1117338/1/bol1196.pdf> Acesso em: 11 jun. 2025.

Gomes, E. A.; Lana, U. G.; De P.; Alves, V. M. C.; Oliveira-Paiva, C. A.; Godinho, B. T. V.; Sousa, S. M. De. Mecanismos das bactérias promotoras do crescimento

de plantas na mitigação dos efeitos do déficit hídrico. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2022. 30 p. (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, n. 267). ISSN 1518-4277. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1144322/mecanismos-das-bacterias-promotoras-do-crescimento-de-plantas-na-mitigacao-dos-efeitos-do-deficit-hidrico> Acesso em 11 jun. 2025.

Guimarães, G.S.; Rondina, A.B.L.; Santos, M.S.; Nogueira, M.A.; Hungria, M. Pointing out opportunities to increase grassland pastures productivity via microbial inoculants: attending the society's demands for meat production with sustainability. *Agronomy*, v. 12, n. 8, p. 1748, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081748>

Hungria, M.; Nogueira, M. A. Inoculação do milho com as estirpes Ab V5 e Ab V6 de *Azospirillum brasilense*: redução na adubação nitrogenada de cobertura e mitigação na emissão de gases de efeito estufa. Londrina: Embrapa Soja, 2022. 36 p. (Documentos, n. 450). ISBN 2176-2937. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1148186/1/Doc-450-OL.pdf> . Acesso em 12 jun. 2025.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Estimativas da safra de cereais, leguminosas e oleaginosas 2025: Abril/2025. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2025. Disponível em: <https://br.search.yahoo.com/search?fr=mcafee&type=E210BR714G0&p=Estimativas+da+safra+de+cereais%2C+leguminosas+e+oleaginosas+2025> . Acesso em 10 jun. 2025.

Júnior, J. A. M. S.; Freiras, J. M.; Rezende, C. F. A. Produtividade do milho associado à inoculação com *Azospirillum brasilense* e diferentes doses de adubação nitrogenada. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 2, p. 1-8, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12711>

Katsenios, N.; Andreou, V.; Sparangis, P.; Djordjevic, N.; Giannoglou, M.; Chanioti, S.; Kasimatis, C.N.; Kakabouki, I.; Leonidakis, D.; Danalatos, N.; Katsaros, G.; Efthimiadou, A. Assessment of plant growth promoting bacteria strains on growth, yield and quality of sweet corn. *Scientific Reports*. v. 12, p. 11598, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16044-2>

Kavamura, V. N.; Santos, S.N.; Silva, J.L.; Parma, M.M.; Ávila, L.A.; Visconti, A.; Zucchi, T.D.; Taketani, R.G.; Andreote, F.D.; Melo, I.S. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. *Microbiological Research*, v. 168, n. 4, p. 183–191, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2012.12.002>

Levien, S.; Figueirêdo, V.; Arruda, L. Evolução da agricultura irrigada na região do Semiárido brasileiro. 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/337486602\\_EVOLUCAO\\_DA\\_AGRICULTURA\\_IRRIGADA\\_NA\\_REGIAO\\_DO\\_SEMIARIDO\\_BRASILEIRO](https://www.researchgate.net/publication/337486602_EVOLUCAO_DA_AGRICULTURA_IRRIGADA_NA_REGIAO_DO_SEMIARIDO_BRASILEIRO)

Acesso em 7 Jun 2025.

Lima, G.B.P.; Gomes, E.F.; Rocha, G.M.G.D.; Silva, F.A.; Fernandes, P.D.; Machado, A.P.; Fernandes-Junior, P.I.; Melo, A.S.; Arriel, N.H.C.; Gondim, T.M.S.; Lima LM. Bacilli rhizobacteria as biostimulants of growth and production of sesame cultivars under water deficit. *Plants*, Basel, v. 12, p. 1337, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12061337>

Malhi, G. S.; Kaur, M.; Kaushik, P. Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: a review. *Sustainability*. v. 13, p. 1318, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13031318>

Martins, L. M. V.; Xavier, G.R.; Rangel, F.W.; Ribeiro, J.R.A.; Neves, M.C.P.; Morgado, L.B.; Rumjanek, N.G. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy improving grain yield in the semi-arid region of Brazil. *Biology and Fertility of Soils*, v. 38, n. 6, p. 333–339, 2003. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/152219/1/Separata01302.pdf>

Martins, M.R. dos.; Jantalia, C.P.; Reis, V.M. Impact of plant growth-promoting bacteria on grain yield, protein content, and urea-15 N recovery by maize in a Cerrado Oxisol. *Plant and Soil*. v.422, p.1-2. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-017-3193-1>

Numoto, A.Y.; Vidigal, F.; Soares, P.; Scapim, C.A.; Franco, A.A.N.; Ortiz, A.H.T.; Marques, O.J.; Pelloso, M.F. Agronomic performance and sweet corn quality as a function of inoculant doses (*Azospirillum brasilense*) and nitrogen fertilization

management in summer harvest. *Bragantia*, v. 78, n. 1, p. 26–37, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.2018044>

Nunes, R.L.S. Avaliação da interação entre bactérias promotoras de crescimento vegetal e resposta ao estresse hídrico em [espécie vegetal estudada]. 2023. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023.

Pandolfo, C. M.; Vogt, G. A.; Balbinot Junior, A. A.; Gallotti, G. J. M.; Zoldan, S. R. Desempenho de milho inoculado com *Azospirillum brasiliense* associado a doses de nitrogênio em cobertura. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v. 27, n. 3, p. 94–99, 2015. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1001931/desempenho-de-milho-inoculado-com-azospirillum-brasiliense-associado-a-doses-de-nitrogenio-em-cobertura>

Pankievicz, V.C.S.; Irving, T.B.; Maia, L.G.; Ané, J.M. Are we there yet? The long walk towards the development of efficient symbiotic associations between nitrogen-fixing bacteria and non-leguminous crops. *BMC Biology*. v.99, p. 1-17, 2019. <https://doi.org/10.1186/s12915-019-0710-0>

Petrillo, C.; Vitale, E.; Ambrosino, P.; Arena, C.; Istickato, R. Plant Growth-Promoting Bacterial Consortia as a Strategy to Alleviate Drought Stress in *Spinacia oleracea*. *Microorganisms*, v.6, n.10, p.1798, 2022. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10091798>

Reis, C. de O.; Souza, I.R.P.; Magalhães, P.C.; Marriel, I.E.; Andrade, C. Resposta do milho à inoculação com rizobactérias sob diferentes níveis de estresse hídrico. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1146240> . Acesso em 01 Jun 2025.

Santana, S.R.A.; Voltolini, T.V.; Antunes, G.D.R.; da Silva, V.M.; Simões, W.L.; Morgante, C.V, de Freitas, A.D.S.; Chaves, A.R.M.; Aidar, S.T, Fernandes-Júnior, P.I. . Inoculation of plant growth-promoting bacteria attenuates the negative effects of drought on sorghum. *Archives of Microbiology*. v. 202, p. 1015–1024, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00203-020-01810-5>

Santos, A.R.; da Rocha, G.M.G.; Machado, A.P.; Fernandes-Junior, P.I.; Arriel, N.H.; Gondim, T.M.; Lima, L.M. Molecular and Biochemical Responses of Sesame (*Sesame indicum* L.) to Rhizobacteria Inoculation Under Water Deficit. *Frontiers of Plant Science* v.14, p.1324643, 2024. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1324643>

Santos, M. S.; Nogueira, M. A.; Hungria, M. Outstanding impact of *Azospirillum brasilense* strains Ab-V5 and Ab-V6 on the Brazilian agriculture: lessons that farmers are receptive to adopt new microbial inoculants. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 45, p. 0200128, 2021. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20200128>

Shao, J.; Liu, Y.; Xie, J.; Štefanič, P.; Lv, Y.; Fan, B.; Mandic-Mulec, I.; Zhang, R.; Shen, Q.; Xu, Z. Annulment of bacterial antagonism improves plant beneficial activity of a *Bacillus velezensis* consortium. *Applied and Environmental Microbiology*, v.26, n.88 p.0034022, 2022. <https://doi.org/10.1128/aem.00240-22>

Silva, A. M. M. Fungos micorrízicos arbusculares e rizobactérias atenuando o estresse hídrico em plantas de milho. 2023. Tese (Doutorado) — Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2023.

Silva, E.P.; Dinas, S.S.; Jambeiro, I.C.A.; Feitoza, A.F.A.; Feitoza, A. Screening funcional de bactérias da filosfera de plantas nativas da Caatinga. *Revista Ouricuri*, v. 15, n. 1, p. 03–20, 2025. <http://dx.doi.org/10.59360/ouricuri.vol15.i1.a19073>

Silva, J. H. B. da.; Silva, A.V.; Gomes, T.R.V.R. Uso de bioestimulantes na cultura do milho (*Zea mays* L.): uma revisão. *Scientific Electronic Archives*, v. 16, n. 5, 2023. <http://dx.doi.org/10.36560/16520231664>

Vincent, j. M. A manual for the practical study of root nodule bacteria. Oxford: Blackwell Scientific, 1970. 440 p.

Waseem, M.; Liu, P.; Aslam, M. M. Editorial: Salinity and drought stress in plants: understanding physiological, biochemical and molecular responses. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, art. 1277859, 9 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1277859>

10<sup>8</sup>

